

ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н. Гомзикова Леонида Юльевича на диссертационную работу

Нугуманова Алексея Дамировича по теме «Методика экспериментальной доводки низкоперепадных камер сгорания газотурбинных установок по экологическим нормам», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

1. Актуальность темы.

Экологические характеристики являются в настоящее время, с учетом жесткого регулирования со стороны государства и международных организаций, одним из основных параметров, на которые обращается внимание при проектировании газотурбинных двигателей.

Некоторые методы достижения заданных параметров, в частности, использование воды или пара, как и описано в представленной работе, известны, но конкурентное преимущество дает именно технология создания сухих низко-эмиссионных камер сгорания.

В связи с этим пошаговая технология проектирования и доводки таких камер сгорания, представленная в диссертационной работе, безусловно, является актуальной.

2. Новизна проведенных исследований и полученных результатов.

1. В представленной методике изложена полная пошаговая последовательность проектирования и расчетно-экспериментальной доводки сухих мало-эмиссионных камер сгорания с описанием возможных проблем и методов их преодоления.

2. Предложена схема, позволяющая снизить потери полного давления в выносной камере сгорания, использующей для снижения эмиссии технологию сжигания бедной заранее перемешанной топливовоздушной смеси, обеспечивающая недопустимость стабилизации пламени в смесителе.

3. Разработана система требований к конструктивной схеме МЭКС, необходимых для обеспечения широкого малоэмиссионного диапазона устойчивой работы по температуре в зоне горения, а также устойчивости к проскоку пламени в условиях широкого диапазона эксплуатационных нагрузок.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных положений, выводов и заключений, содержащихся в диссертации.

Достоверность и обоснованность подтверждается:

- 1) проведением экспериментальных исследований на современном стенде, обеспечивающем в модельном одногорелочном отсеке (1/12 часть КС) полные параметры процесса в КС (температуру, давление, расходы воздуха и топливного газа);
- 2) использованием стандартных методик обработки результатов исследовательских и доводочных испытаний на стенде с высокими параметрами рабочего процесса АО «ОДК-Авиадвигатель»;
- 3) использованием высокоточного, современного измерительного оборудования, поверенного и имеющего сертификаты метрологической аттестации в АО «ОДК-Авиадвигатель»;
- 4) использованием современных расчетных пакетов типа комплекса ANSYS Fluent/CFX (США), верифицированного по результатам испытаний в АО «ОДК-Авиадвигатель».

4. Значимость результатов, полученных в диссертации, для развития соответствующей отрасли науки.

1. Представленную авторскую методику возможно использовать при создании новых и усовершенствовании существующих конструкций КС для достижения экологических требований, регламентируемых государственными и международными регуляторами.

2. На основании методики выполнена доводка конструкции МЭК ГТУ мощностью 16 МВт, подтвердившая уровень выбросов оксида азота (NO_x) менее 50 мг/м³ и оксида углерода (СО) менее 100 мг/м³ при относительно низком уровне потерь полного давления в КС, что позволило сохранить высокий КПД двигателя в целом.

5. Оценка содержания диссертационной работы.

В первой главе автором приведен литературный обзор факторов, определяющих эмиссию оксидов азота и СО и методов снижения доли вредных выбросов в выхлопе. Приведен анализ существующих малоэмиссионных технологий сжигания топливного газа и конструктивных решений ведущих мировых производителей, таких как General Electric, Siemens, Kawasaki Heavy Industries, Solar, Mitsubishi Hitachi Power Systems.

Приводится описание общих подходов, таких, как многоколлекторная схема подвода топлива для управления полем концентрации топлива, эшелонирование сжигания

топливовоздушной смеси, поддержание температуры горения в узком диапазоне за счет регулирования расхода воздуха в КС посредством перепусков.

Приведенный анализ подтверждает актуальность создания методики проектирования и доводки сухих мало-эмиссионных камер сгорания

Во второй главе приведена схема МЭКС, при создании которой был использован как опыт мировых производителей, изложенный в первой главе, так и предложены новые решения, позволяющие в итоге уменьшить потери полного давления в камере сгорания без снижения остальных характеристик.

Представлено описание метода определения ширины малоэмиссионного диапазона работы камеры сгорания на котором обеспечивается низкий уровень окислов азота и углерода. Показана определяющая ширину малоэмиссионного диапазона зависимость эмиссии NO_x и CO от температуры в первичной зоне.

В третьей главе приведено описание численной оценки частоты и амплитуды термо-акустических колебаний и анализа причин их появления, позволяющее предложить мероприятия по их снижению или выведению за мало-эмиссионный диапазон.

Представлена последовательность экспериментальной проверки предложенных мероприятий и доводки диапазона устойчивой работы МЭКС. Показано, что результаты эксперимента близко соответствуют результатам численного моделирования.

Приведено описание мероприятий, позволивших вынести положение пика горячих тонов пульсаций за рабочий малоэмиссионный диапазон.

В четвертой главе автором приведено описание способов, используемых для снижения возможности стабилизации пламени в смесителе, а также описано решение, использованное при проектировании МЭКС ГТУ, позволившее избежать при этом и повышенного уровня потерь в камере сгорания. Представлена последовательность шагов экспериментальной проверки отсутствия проскока пламени в смеситель. Выявлена зависимость угла крутки основного потока от перепада давления на фронтальном устройстве, обеспечивающая приемлемые осевые скорости потока на выходе из горелки.

Таким образом во второй, третьей и четвертой главах представлена полная последовательность действий при экспериментальной доводке МЭКС и приведены результаты использования этой методики при доводке МЭКС ГТУ мощности 16 МВт, что соответствует целям работы, заявленным во **введении**.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

6. Замечания и вопросы по диссертационной работе

Следует отметить имеющиеся в диссертационной работе недостатки:

1. В первой главе приведено обширное, структурированное и интересное исследование конструктивных решений при проектировании МЭКС различных производителей ГТУ, но недостаточно раскрыто обоснование этих решений. В работе приводится, что являлось целью этих конструктивных решений, но почему именно это являлось приоритетной целью, часто не указывается. Например, декларируется необходимость максимальной гомогенизации топливовоздушной смеси, но рисунок, приведенный в обоснование этой цели (рисунок 1.1), не содержит описания. При этом в дальнейшем в четвертой главе автором описаны почти противоположные мероприятия – получение радиального распределения с низкой концентрацией топлива вблизи стенок смесителя. То есть целью было не «равномерное», а «заданное» распределение топлива.
2. Аналогично, в первой главе приведено, какие мероприятия применяются различными производителями для управления расходом воздуха и температурой на входе в КС путем регулирования ВНА и перепуском воздуха на вход или на выход двигателя, но не приведено структурированного сравнения этих решений. Для решений SIEMENS представлены графики влияния перепуска на эмиссию NO_x (рисунки 1.20, 1.21), но к этим рисункам не хватает описания.
3. Во второй главе описана конструкция МЭКС ГТУ 16 МВт, приведена последовательность работы по определению и расширению температурного диапазона для низкой эмиссии и даны практические рекомендации и мероприятия применительно к описанной МЭКС, но теоретическое обоснование ограничено. Из него не понятно, зачем другие производители ГТУ используют сложные эшелонированные схемы сжигания топлива, чего, кстати, нет в описанной МЭКС, а также нет связи теории с одним из приведенных основных результативных мероприятий для расширения диапазона – управлением PFR. То есть, в работе указана, как целевая, идея – удержание температуры в зоне горения в указанных пределах, а мероприятия касаются не столько удержания температуры, сколько расширения диапазона допустимых температур.

4. В третьей главе приведена экспериментальная и расчетная оценка частот пульсаций давления, но нет описания численной постановки, достаточного для воспроизведения результата. Кроме того, приведенное в описании разделение на диффузионный и гомогенный режимы горения по доле восстановленного топлива соответствует, скорее, зонам камеры сгорания, в которых эти режимы преимущественно реализуются, но не критерию определения типа фронта пламени в локальной точке, используемого в приведенной в описании к расчетной оценке двухфронтной модели горения.
5. Расчетная оценка возможности проскока пламени, приведенная в четвертой главе, также не содержит описания, достаточного для воспроизведения результата.
6. Примененное в конструкции решение стабилизации фронта пламени с использованием плохообтекаемого тела отличается от методов стабилизации, приведенных в литературном обзоре конструкций первой главы. По-видимому, именно это решение и позволило снизить потери на КС, но привело к иным подходам к борьбе с проскоком пламени. Вопрос в применимости приведенных шагов по обеспечению отсутствия стабилизации пламени в смесителе для других способов организации сжигания бедной заранее перемешанной топливовоздушной смеси.
7. В диссертационной работе имеется ряд грамматических ошибок и неудачных стилистических формулировок.

В целом, указанные недостатки не снижают положительной оценки диссертационной работы.

Заключение.

Диссертационная работа Нугуманова Алексея Дамировича «Методика экспериментальной доводки низкоперепадных камер сгорания газотурбинных установок по экологическим нормам» выполненная в отделении камер сгорания АО «ОДК-Авиадвигатель» является научно-квалификационной работой, в которой содержится методика получения требуемых уровней эмиссии вредных веществ в выхлопных газах газотурбинной установки с обеспечением устойчивой работы, без пульсаций давления, малоэмиссионной камеры сгорания работающей по принципу сжигания бедных предварительно подготовленных топливовоздушных смесей при экспериментальной доводке.

Работа выполнена на высоком научном и техническом уровне с использованием современных средств и методик, а основные выводы обоснованы и подтверждены результатами внедрения.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Нугуманов Алексей Дамирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук,
начальник сектора С1 отдела ТМП,
ООО «Саровский инженерный центр»

e-mail: lgomzikov@saec.ru

тел.: +7 902 806 37 87

15 мая 2022 года

Л.Ю. Гомзиков

Кандидатская диссертация защищена по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Подпись Гомзикова Леонида Юльевича удостоверяю, специалист отдела кадров ООО «Саровский инженерный центр», Нижегородская обл., Дивеевский район, п. Сатис, ул. Парковая д.1, стр.3, Технопарк «Саров». E-mail: info@saec.ru, Тел.: +7 (831) 306-76-02

Специалист отдела кадров

Костюкова Елена Александровна

15 мая 2022

